群体面孔情绪感知的神经机制*

何蔚祺[1,2] 李帅霞[1,2] 赵东方[1,2]

[1]辽宁师范大学脑与认知神经科学研究中心，大连 116029

[2]辽宁省脑与认知神经科学重点实验室，大连 116029

摘要 如何揭示情绪性面孔加工的认知神经机制一直是心理学和社会神经科学的热点课题。以往研究主要采用单独面孔表情作为情绪诱发或呈现方式，但对群体情绪知觉与体验的关注极其缺乏，而群体面孔表情作为群体情绪的主要表达方式，亟待深入关注。因此，本项目将采用群体面孔（面孔群）表情作为群体情绪刺激，拟通过事件相关电位（ERP）、核磁共振（fMRI）以及经颅磁刺激（TMS）等技术结合行为研究，尝试从情绪信息（效价和强度）、朝向信息（正面、侧面、倒置）、完整性（局部呈现、完整呈现）、空间频率信息（完整、高频、低频）等方面探明群体面孔表情加工的时间动态特征和大脑激活模式。这将有助于全面认识和深入了解群体情绪识别的一般规律，对于更好地优化社会互动也具有现实意义。

关键词 面孔表情，情绪加工，群体情绪，整体感知

分类号：B842

1 问题提出

情绪作为一种复杂的心理过程，不仅伴随认知过程产生，而且影响认知过程的发生和发展。传统的情绪认知理论将情绪视为一种基于个人关注的个体现象，具体指个体在评估某事件是否满足自身需要时产生的伴有生理唤醒的主观体验(Frijda, 1986)，在我们的身心健康及社会交往中发挥着重要作用。因此，个体情绪已经成为众多心理学家和认知神经科学工作者关注的热点问题，并积累了丰硕的研究成果(Adolphs, 2017; Adolphs et al., 2005; Chen & Whitney, 2019; de la Rosa et al., 2018)。

然而，人类作为社会性群居动物，在日常生活中经常会遇到和一大群人互动的场景，快速有效地知觉、评价并对人群线索做出反应是成功进行社会交往的重要条件。其中，群体情绪的感知和识别是最为常见且不可忽视的。关于群体情绪，当前研究者一致认为它是情绪研究从个体水平向群体水平的深化和拓展，但是并没有给出明确统一的定义。相比于个体情绪，群体情绪具有极强的传染性和暗示性(Le Bon, 1895; Smith et al., 2007)。比如，在群体悲伤

收稿日期：2020-09-01

* 国家自然科学基金项目(31970991)支持

通讯作者：何蔚祺，E-mail: weiqi79920686@sina.com

(Porat et al., 2016)、愤怒(Leach et al., 2006)、恐惧(Smith et al., 2008)、内疚(殷融等, 2017)、自豪(van Leeuwen et al., 2013)等几种常见的群体情绪类型中，研究者们发现，任何一种群体情绪尤其是消极群体情绪可以降低或增强个体的责任意识，使之以群体的行为和言论为标准，并调节其在群际互动中的补偿、惩罚、和解或支持行为。可见，群体情绪不仅可以调节群体行为促进社会和谐，而且在激发和预测个体的亲社会行为方面有更强的驱动力。深入剖析群体情绪产生、知觉与体验的潜在神经机制也是当今社会发展过程中迫切需要解决的课题。

面孔表情是个体进行社会互动的一种重要途径，透过面孔表情，我们能快速准确地知觉他人的情绪状态和行为意图。所以，面孔表情被认为是情绪研究的客观指标(Barrett et al., 2019; Dricu & Frühholz, 2016)。现有的大部分研究主要围绕单独面孔表情的加工展开，发现相较于中性面孔，人们对情绪性面孔尤其是威胁性的面孔存在明显的注意偏向(Fox et al., 2000)。如果研究对象是群体情绪面孔，这种注意偏向效应是否稳定存在？Calvo 和 Beltrán (2013)的研究指出威胁性面孔加工优势体现在面孔表情加工的早期阶段（N170），中期高强度和高唤醒度的面孔波幅更大（EPN 和 N2），晚期时高兴面孔优势加工突显（P3b 和 SPW）。由此可知，不同情绪类型的单独面孔在加工时程上存在差异，那么，不同类型的群体面孔表情的加工在脑时程上是否也具有不同的反应模式？此外，单独情绪面孔的知觉和加工涉及广泛的脑区，比如：杏仁核、眶额皮层、前脑岛、背内侧/背外侧/腹外侧前额叶、前扣带回以及部分视觉皮层(如梭状回)等(Lindquist et al., 2012)，这些脑区在群体面孔的识别中发挥着怎样的作用？群体面孔表情的加工是否存在特异性脑区？综上，在新兴的群体面孔情绪识别领域，尚有诸多问题亟待解决。

2 研究现状及发展动态分析

2.1 单独面孔表情的构型和特征加工

面孔表情作为生活中常见的非言语线索，反映了人们的情绪、意图、动机和需求，对人际互动中表达者和观察者的适应性行为调节至关重要(Ekman, 2003)。大量研究发现，人们对基本面孔表情的加工是快速且自动的(Rellecke et al., 2011; Wang et al., 2012)，且不论任务外显与否，在面孔刺激呈现后 100ms 左右就能够成功地解码表情信息(Smith & Smith, 2019)。那么，面孔表情快速识别背后的心理机制是什么？鉴于面孔身份的感知和识别涉及构型和特征编码策略(Cabeza & Kato, 2000; 汪亚珉, 黄雅梅, 2011)，研究者们从该角度探讨了构型和特征编码在单独面孔表情加工中的作用(Beaudry et al., 2014; Bombari et al., 2013)。毫无疑问，面孔表情的加工与特征编码有关，眼部和嘴部区域是表情识别过程中两个主要的信息源

(Wegrzyn et al., 2017)。并且，二者在不同表情的识别中作用有所不同(Beaudry et al., 2014; 李帅霞等, 2017)。具体来说，愤怒和恐惧表情的识别主要依赖于眼部特征，高兴和厌恶的识别主要依靠嘴部特征，而悲伤和惊讶表情的识别需要综合眼部和嘴部特征(Calvo & Beltrán, 2014; Calvo et al., 2014)。然而，当给被试呈现正立对齐的复合面孔（高兴眼区和愤怒嘴巴组合而成）时，情绪不一致条件下对上半部或下半部情绪判断的反应时显著慢于情绪一致条件(Calder et al., 2000)，反映了构型信息在面孔表情识别中的作用。为了考察构型与特征加工在面孔表情识别中的作用大小，Bombari 等(2013)将高兴、悲伤、愤怒和恐惧面孔表情制作成正立和倒置的正常、模糊（保留构型信息）、杂乱（保留特征信息）六种类型，发现倒置比正立的表情识别更困难，反应时更长；杂乱比模糊和正常表情的反应时更长。这些结果证明构型加工在表情识别中发挥的作用比特征加工更大。

以往的脑成像证据显示，左侧前额叶皮层和杏仁核对面孔内部眼睛或嘴巴的形状或大小非常敏感，而右侧梭状回和右侧额叶对面孔的构型变化敏感(Ahs et al., 2014; Maurer et al., 2007)。Meaux 和 Vuilleumier (2016)运用面孔合成范式直接考察了面孔表情识别中构型和特征加工的脑机制，在行为层面上发现高兴和愤怒表情的准确识别不仅依赖特征加工，也涉及构型信息的加工，支持了面孔表情的双编码理论(Tanaka et al., 2012)。神经层面上，构型和特征加工涉及分离的神经回路：单独呈现的眼区或嘴部表情相比于完整表情在初级视觉皮层和丘脑枕上的激活增强。与面孔上下两部分的情绪不一致条件相比，情绪一致性面孔在梭状回、枕下回以及杏仁核上的激活显著增大。相反，情绪不一致比一致的面孔在颞上沟、额下回以及眶额叶皮层上的激活更强。另外，电生理方面的研究还发现，正立高兴比悲伤表情诱发了较小的 N170 波幅和更短的潜伏期，损害面孔构型加工的倒置条件相比正立条件提高了高兴表情产生的 N170 波幅，证实了高兴表情的识别优势与构型加工有关(Song et al., 2017)。除 N170 外，EPN 成分也受构型加工的影响，愤怒比高兴或中性的完整面孔在右半球上诱发了波幅更负的 EPN，但在局部表情上没有发现该效应。晚期 P3 受特征信息的调节，高兴的嘴部和愤怒的眼部产生了更大的 P3 波幅(Calvo & Beltrán, 2014)。尽管现有研究发现构型和特征加工以并行交互的方式作用于面孔表情识别，并且存在独立的脑活动模式，但是由于实验范式和材料的差异，这两种加工的先后关系以及交互作用的机制还有待深入探讨。

2.2 单独面孔表情加工的脑机制

过去数十年里，通过面孔表情探究情绪已成为情绪心理学研究的一个核心问题，研究者们采用多种技术考察了面孔表情加工的脑结构网络和时间动态特征。从时间进程上看，面孔表情加工的三阶段理论(Luo et al., 2010) 认为，个体在加工面孔表情时，第一阶段是对威胁

性情绪的自动化加工，第二阶段区分情绪性与中性面孔，第三阶段是对面孔情绪效价的精细加工与评估。的确，包括 P1、N170、EPN 和 LPP 在内的一系列 ERP 成分都受到面孔表情的调节，代表了表情加工的不同阶段(Ding et al., 2017; 侯牧等, 2014)。相比于中性面孔，大量研究发现，不论注意资源充足与否，威胁性的面孔表情如恐惧或愤怒能快速捕获注意，诱发出增大的 P1 波幅(Luo et al., 2010; Pourtois et al., 2004; Rellecke et al., 2012)，揭示了早期的负性偏向。N170 作为公认的面孔敏感性成分，不仅参与面孔固有的情绪信息加工，还参与情绪性情境-面孔信息的整合，存在对情绪性尤其是威胁信息的加工偏向(Li et al., 2018; Luo et al., 2010)。EPN 成分是一个一般性的情绪信息加工机制，面孔表情的效价和唤醒度都能调节其波幅，比如高唤醒的高兴、愤怒、恐惧等表情相比中性表情诱发了增大的 EPN 波幅，代表了增强的选择性注意(Calvo & Beltrán, 2013)。晚期的 LPP 成分反映了对情绪性刺激的精细化加工和评价，情绪性表情诱发的 LPP 波幅大于中性表情，而情绪性表情间的波幅差异受任务的影响(Rellecke et al., 2012)。

fMRI 方面的研究发现，对面孔情绪信息的加工涉及到广泛的脑区，包括杏仁核、基底神经节、前脑岛、眶额皮层、前扣带回、背内侧前额叶、腹外侧前额叶、背外侧前额叶、颞叶回、视觉皮层以及小脑等皮层上与皮层下区域(Lindquist et al., 2012; Pessoa, 2017; Phan et al., 2002)。值得一提的是，颞上沟是公认的参与面孔表情加工的关键性脑区(Haxby et al., 2000)。而且，不同类型的面孔表情在脑区激活上也存在差异。具体来说，杏仁核、梭状回、额中回等脑区对恐惧面孔更加敏感(Ironside et al., 2017; Lindquist et al., 2012)，枕中回、内侧前额叶等脑区对愤怒面孔更加敏感(Kesler et al., 2001)，而右侧中央后回和左后侧脑岛对惊讶面孔有更高的敏感性(Zhao et al., 2017)。以上证据显示，情绪性面孔加工的时间进程以及大脑激活模式并不完全一致，可见大脑对于面孔表情的表征和识别十分灵活。

2.3 群体面孔表情加工的心理及脑机制

在各式各样的情景中，不论是在公共汽车上、教室里还是工作会议上，我们需要和一大群人进行互动，并快速地从成群的面孔中搜索和提取重要的信息。不同于单独面孔表情加工采用的特征和构型编码(Maurer et al., 2002; Meaux & Vuilleumier, 2016)，人们采用整体编码(Ensemble coding)的方式来提取群体面孔的平均情绪信息(Elias et al., 2017; Haberman & Whitney, 2007)。所谓整体编码，是指将集合中所有对象的信息进行压缩合并形成一个单一的反映整体属性或主旨的高级汇总统计表征，比如通过提取集合内所有成员的特征值计算生成的平均表征(Alvarez, 2011)。Ariely (2001)发现，人类的视觉系统可以对刺激集合进行快速平均表征，虽然人们无法准确地报告集合中单个对象的大小，但是能够非常准确地报告集合

的平均大小。可以说，平均表征将不够精确的个体特征整合为相对精确的集合表征，这不仅能够克服视觉系统同时处理多个刺激的注意容量限制，增强视觉认知，而且为我们提供了一个相当准确和稳定的视觉世界印象，更好地调整后续的群体相关行为(Sun & Chong, 2020)。比如，一名演说家可以通过现场听众的平均面孔表情决定是否给予深入的讲解。在当前的实证研究中，平均表征通常是以集合成员特征的平均值作为客观测量指标(Chong & Treisman, 2005; Sweeny et al., 2013; Sweeny & Whitney, 2014)，群体面孔表情的研究也不例外，研究者依据变形面孔（morphed face）情绪单元的差异，通过计算集合内面孔情绪单元的平均值来定义群体面孔的平均情绪(Haberman et al., 2009; Haberman & Whitney, 2007, 2009)。比如，Haberman 和 Whitney (2007)采用 Morph 软件生成了高兴—悲伤区间内按 1 个情绪单位逐级变化的变形面孔图片共 50 张，依据各张变形面孔的情绪单位来制作群体面孔集合和测试面孔。任务是让被试判断单独呈现的测试面孔表情比先前呈现的群体面孔的平均情绪更高兴还是更悲伤，结果发现当测试面孔表情比群体平均情绪高出 4 个情绪单位时，被试的正确率达到了 75%，表明被试在辨别群体情绪的基础上对单张面孔和群体面孔进行了比较，直接证明了个体可以非常准确的表征群体面孔的平均情绪。以中性和厌恶群体面孔表情为实验材料的实验中也发现了类似的结果。可见，群体面孔平均情绪的识别具有跨情绪的普遍适用性。

此外，群体面孔平均情绪的感知和提取较少受群体面孔的低水平物理特征如亮度、对比度、面孔局部特征的影响(Haberman & Ulrich, 2019; Haberman & Whitney, 2009)，不仅支持了以往以光栅(Parkes et al., 2001)、点数(Burr & Ross, 2008)、速度(Watamaniuk & Duchon, 1992)等低水平刺激为对象的研究结果，而且反映出群体面孔加工中的整体编码机制不同于单独面孔加工中的构型编码机制。的确，虽然单独面孔表情的识别能力受损，人们依然可以准确地识别群体的平均情绪(Leib et al., 2012)。近来，Sun 和 Chong (2020) 基于损害面孔构型信息的倒置效应，操控了情绪性单独面孔和群体面孔的朝向（正立和倒置），发现了单独面孔所诱发的倒置效应程度显著高于群体面孔所诱发的倒置效应。在单独面孔条件下，相比于愤怒表情，增加面孔内部倒置特征的数量，尤其是当嘴部包含在内时，会严重影响高兴表情的强度判断；在群体面孔条件下，虽然增加集合内倒置面孔的数量会干扰被试对平均情绪的提取并增强倒置效应，但是倒置效应的大小不受情绪类型的影响。这些证据不仅支持了整体编码和构型编码机制上的分离，而且证明了面孔内部特征和情绪会影响个体面孔的构型加工，但群体面孔的整体编码对个体面孔特征是不敏感的，因为整体编码提供了一种强有力的噪音消除机制——平均表征。那么，高低水平群体刺激的平均信息提取所涉及到的整体编码机制究竟是领域普遍性的还是领域特异性的？针对该问题，Haberman 等(2015)采用个体差异范式

考察了被试在提取低水平（光栅朝向和颜色）和高水平(面孔表情和面孔身份)群体刺激的平均信息和局部信息时的行为反应，发现高级整体表征（平均面孔情绪）和低级整体表征（平均朝向）是完全独立的，而且平均群体表情和平均群体身份条件下的整体表征没有显著的相关，从行为层面上证实了平均群体信息加工中整体编码的领域特异性。

虽然个体能够准确地识别群体面孔的平均情绪，但是却无法注意到群体中特定面孔的细节信息及其变化(Haberman et al., 2009; Haberman & Whitney, 2007, 2009)，这并不意味着群体感知过程中局部信息加工的丧失。相反，构成群体的单个对象在平均信息到达意识层面之前已被自动无意识地加工(Parkes et al., 2001)。正如 Elias 等(2017)结合动态面孔表情所发现的，群体内部情绪信息的同步性会影响个体对群体平均情绪的感知。当群体内部情绪信息朝向同个方向（同质）时，被试知觉到的群体平均情绪要比群体内情绪非同步条件更准确，表明了群体识别中个体信息的加工。同样地，以静态中性和厌恶面孔表情为材料的研究也发现，群体表情的整体编码与个体编码是相互联系的，当注意资源充足时，个体信息的感知能够提高群体平均情绪的识别率(Li et al., 2016)。尽管如此，群体面孔平均情绪的感知和识别也并非完全依赖于局部信息。当群体面孔中包含极端情绪个体时，人们会无意识地忽略极端值，在群体内大部分面孔表情的基础上提取出平均情绪(Haberman & Whitney, 2010)。然而，现有的有关群体面孔整体编码机制的研究仍集中于行为层面，缺乏对其脑机制的探讨。并且，群体中个体信息究竟以何种方式进行编码及其如何影响平均情绪的识别仍然不清楚，有待进一步考察。

由于视觉加工中注意资源和短时记忆容量的有限性，越来越多的研究开始关注注意资源对群体面孔平均情绪加工的影响，结果却不尽相同。部分研究者认为，群体面孔平均情绪的提取是快速且自动的，不受注意资源的限制(Haberman & Whitney, 2007, 2009; Li et al., 2016)。不论群体面孔的呈现时间是 50 ms、500 ms 或 2000 ms，被试对群体平均情绪的正确识别率都显著高于机会水平，说明群体平均情绪的识别速度非常快。而且，Ji 等(2018)采用线索—目标范式，给被试呈现 150ms 的群体面孔刺激，并记录了他们在做情绪识别任务时的 ERPs，发现线索有效条件下平均情绪识别诱发的 N2pc 和 SPCN 波幅显著高于个体情绪识别条件，说明注意并非群体平均情绪识别的先决条件。但是在注意瞬脱的研究中，McNair 等(2017)却发现群体平均情绪的识别存在显著的注意瞬脱效应，短间隔条件下群体平均情绪的识别率显著低于长间隔条件，这意味着注意资源的充足与否会影响群体平均情绪的提取和识别。究其原因，群体面孔表情呈现的时间、研究范式、实验任务及实验难度等都会对实验结果产生影响。而且，鉴于行为研究的局限性，未来的研究需要结合眼动、ERP、fMRI 等更为精密的技

术手段来揭示群体面孔平均情绪识别与注意的关系。

不仅如此，群体面孔平均情绪的感知可以反映出个体对群体面孔表情识别的敏感性。以单张面孔为对象的表情识别研究主要聚焦于高兴、悲伤、愤怒、恐惧、厌恶、惊讶这六种基本情绪上，且证实高兴表情和愤怒表情有明显的识别优势(Calvo & Beltrán, 2013; Nummenmaa & Calvo, 2015)。当一类表情面孔聚集为一个群体时，该群体也可以传递出上述六种基本情绪。基于前人研究中发现的面孔表情识别优势效应，Becker 等(2011)以及 Bucher 和 Voss (2019)探讨了群体面孔中局部情绪面孔信息的识别优势，发现高兴表情比愤怒表情的识别速度更快，准确率更高，且高兴表情获得的注视时间更长。然而，这两项研究并未直接考察高兴面孔群体相较于其他面孔情绪群体是否具有更好的识别优势，有待进一步的研究。此外，Im 等(2017) 率先使用动机回避任务并结合 fMRI 考察了群体面孔表情和个体面孔表情加工的脑机制，发现群体和个体面孔表情的加工涉及独立的脑结构网络。具体为：背侧视觉通路中的脑区顶内沟、额上回对群体面孔表情更加敏感，腹侧视觉通路中的梭状回对个体面孔表情更加敏感，但对情绪信息敏感的杏仁核在加工群体面孔表情和个体面孔表情时没有表现出差别化的激活模式。而且，当选择愤怒而非中性群体面孔作为回避目标时，背侧视觉通路上的额上回、额中回、眶额叶、腹外侧前额叶、后扣带等脑区有更大的激活；中性而非高兴群体面孔作为回避目标时，双侧颞中回、后扣带和前扣带等脑区的激活更大；单独的愤怒而非中性面孔作为回避目标时，角回、楔前叶、颞中回、前额叶和眶额叶皮层的激活更大；单独的中性而非高兴面孔作为回避目标时，额下回、脑岛、辅助运动区以及颞极等脑区激活更大。这是现有的唯一一项考察群体和个体面孔表情加工脑机制的研究，虽然在一定程度上揭示了两类面孔表情加工机制上的差异以及表情类别的影响，但不足以全面地揭示群体面孔表情加工的本质。

2.4 小结

面孔表情是日常生活中非语言交流的重要组成部分。通过观察单张面孔，人们可以快速推断他人的情绪状态和动机意图并调节自身在社会交往中的适应性行为。当前的大部分研究已经围绕个体面孔情绪感知的编码方式和认知机制展开了较为深入的探讨，并取得了一定的共识：面孔情绪的识别并非仅依靠构型加工或特征加工，这两种编码方式依据表情类型互相补充并发挥不同的作用(Bombari et al., 2013; Cabeza & Kato, 2000)；在神经层面上，面孔情绪的加工涉及多个不同的心理过程和广泛的皮层和皮层下脑区(Lindquist et al., 2012; Luo et al., 2010)。这些证据加深了我们对二人互动情境中面孔情绪的认知神经机制的认识和理解。

可是，除了二人互动情境外，我们也不可避免地要参加各种群体活动，需要同时和多人

进行沟通和交流，快速地知觉和评估群体面孔的情绪信息对于群体分类(Goldenberg et al., 2020)以及预测和调节群体态度和行为(Smith & Mackie, 2016; Smith et al., 2007)至关重要。但是，由于缺乏成熟可靠的实验范式，群体面孔表情领域的研究还处于起步阶段。考虑到人们经常面对高度结构化的信息，这些结构化的信息彼此相似，以集合的形式存在。在考察低水平刺激集合加工方式的基础上，当前的研究者将群体面孔表情纳入研究范围，主要围绕群体面孔表情的加工机制展开了研究，从行为层面上证实了个体能够采用整体编码的方式提取群体平均情绪信息(Haberman & Whitney, 2007, 2009; Sun & Chong, 2020)。值得注意的是，Im等(2017)发现，梭状回在内的腹侧视觉通路主要参与个体面孔表情的加工，而顶内沟和额上回在内的背侧视觉通路主要参与群体面孔情绪的加工，从神经层面上直接证实了群体面孔表情加工中的整体编码机制独立于单独面孔表情的编码机制。然而，整体编码机制背后所涉及到的情绪信息表征（效价和强度），群体面孔情绪识别所依赖的关键线索以及群体面孔表情本身的特征（面孔朝向、视角、空间频率等）以何种方式影响人们对群体情绪的感知和识别，现有研究还未给出科学的答案。基于此，本研究拟采用认知神经科学研究中常用的技术手段来系统地考察群体面孔表情加工的认知神经机制，揭示群体面孔情绪识别的一般特征和规律。

3 研究构想

本研究拟以群体面孔中的情绪性信息加工为出发点，结合行为、ERP、fMRI 和 TMS 等技术手段从外在行为表现和脑内时空特征来系统探讨群体面孔情绪加工的认知神经机制。研究设计方面，采用横向比较和纵向寻根的思路，首先从效价和强度两个方面探讨不同情绪类型的群体面孔表情加工的时间动态特征和大脑激活模式；在此基础上进一步考察面孔本身的构型和特征信息对不同效价群体面孔表情加工的影响及其认知神经机制。此外，结合探索性数据驱动技术——气泡遮盖技术(Bubbles technique)，寻找对群体面孔情绪信息知觉与识别的关键局部信息及背后的认知机制。总体研究框架如图 1 所示。

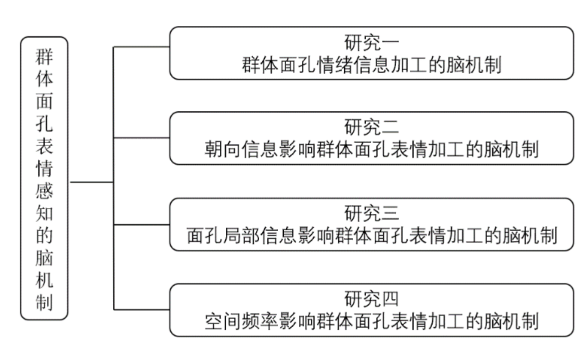


图 1. 总体研究框架

3.1 研究一：群体面孔情绪信息加工的脑机制

面孔表情传递的情绪内容，既有效价（正性、中性、负性）上的不同，又有强度（高、中、低）上的差异。在本研究中，依据 Im 等(2017)制作群体面孔材料的方法，以愤怒、恐惧、悲伤、高兴的面孔表情为基础实验材料，制作出在不同情绪效价和强度区间内变化的群体面孔表情材料。把 ERP、fMRI 和 TMS 技术与情绪辨别任务相结合，全面考察情绪性群体面孔表情加工的敏感性、动态时间进程、脑内激活模式和相关的重要脑区。具体研究内容如下：

实验 1 采用群体面孔效价为自变量的单因素被试内设计，结合 ERP 和 fMRI 技术来考察不同效价的群体面孔表情加工的时间动态特征及脑激活模式。实验流程是先让被试观看呈现的群体面孔表情，随后呈现一张测试面孔，任务是判断测试面孔情绪比之前知觉到的群体情绪更愉悦还是更不愉悦。研究假设被试对于不同效价的群体面孔表情的识别率可能都高于机会水平。且相较于非威胁性的负性群体面孔，被试对群体高兴以及威胁性群体面孔表情的识别能力更好，敏感性更高。在 ERP 结果中，不同效价的群体面孔表情在 P1、N170、EPN、LPP 等成分上可能会表现出有差别的反应。fMRI 结果中，群体面孔诱发的脑区激活存在于顶内沟、辅助运动区、额上回等对于多目标整合加工敏感的区域。不同效价的群体面孔表情在杏仁核、丘脑等皮层下脑区和前脑岛、前扣带回、前额叶等皮层脑区可能存在激活模式的差异。

实验 2 采用群体面孔表情强度×群体面孔效价的两因素被试内设计，结合 ERP 和 fMRI 来考察群体面孔表情强度信息加工的敏感性及脑认知机制。实验流程与实验 1 类似，唯一的区别是任务指导语为判断测试面孔情绪强度比群体面孔强度更强还是更弱。研究假设对正性群体面孔识别的正确率可能会高于负性群体面孔。高强度与低强度的群体面孔表情的识别率之间可能存在明显的差别，群体面孔表情的强度越高，识别率就越高。ERP 结果中，早期加工阶段上的 P1 和 N170 成分可能对群体面孔的强度信息敏感，表现出有差别的波幅。中晚期的 EPN 和 LPP 波幅可能会受群体面孔的效价信息和强度信息的双重影响，产生不同的神经反应。fMRI 结果中，杏仁核、前脑岛、前扣带回、腹内侧前额叶和眶额叶等参与面孔情绪信息加工的脑区可能会不同程度地受到情绪效价和强度信息的影响，产生有差别的激活模式。

依据实验 1 和实验 2 的 fMRI 结果，实验 3 和实验 4 采用 TMS 技术分别考察群体面孔表情效价信息加工和强度信息加工的重要脑区。其中，实验 3 采用情绪效价×靶点的两因素被试内设计。实验 4 采用强度×情绪效价×靶点的三因素被试内实验设计。在实验流程上，

在群体面孔表情呈现结束后，在目标靶点或顶点施加 10Hz 的强度为 100% MT 的脉冲。实验假设相对于顶点，对目标靶点施加 TMS 脉冲可能会对不同群体面孔表情的效价/强度识别产生调节作用。

3.2 研究二：朝向信息影响群体面孔表情加工的脑机制

现实生活中，由于场景和所处位置的独特性，人们需要从不同的视角来识别和解读他人的面孔表情。相较于正面呈现的面孔表情，侧面面孔的整体性加工受到影响，所表达的情绪信息强度有所减弱(Guo & Shaw, 2015)。此外，倒置效应也能够为考察面孔的构型加工提供理论证据。与正立面孔相比，面孔倒置也干扰面孔的构型加工，降低面孔表情的识别率。考虑到早期ERP成分（如 P1）对低水平物理特征非常敏感(Caharel et al., 2015; Rossion & Caharel, 2011)，为了避免无关因素对于实验结果的干扰，研究二将采用行为、fMRI 以及 TMS 考察群体面孔表情的加工是否也遵循上述规律。群体面孔表情朝向包括侧面、半侧面和正面。群体面孔表情的倒置效应研究包括正立和倒置两种水平。具体研究内容如下：

实验 5 采用面孔朝向×群体面孔效价的两因素被试内设计，考察被试在感知和识别不同朝向或视角的群体面孔表情时的脑内激活模式。依据研究一中的材料制作方法制作不同视角的情绪性群体面孔表情图片。被试的任务与实验 1 类似，即进行面孔情绪效价判断。每个组块里只呈现一种朝向的群体面孔，组块的呈现顺序在被试间进行平衡。研究假设侧面或半侧面呈现的群体面孔表情的识别率较于正面面孔表情可能会降低。fMRI 结果中，杏仁核、前扣带和前额叶皮层等区域可能对各种条件的激活存在特定加工模式，存在情绪效价与面孔朝向的交互作用。

实验 6 采用自变量为面孔方位×群体面孔效价的两因素被试内设计，考察群体面孔表情信息完整可视的条件下，群体面孔的构型信息影响群体面孔表情加工的脑激活模式。实验任务也是进行情绪效价判断。研究假设相较于倒置的群体面孔表情，被试对正立的群体面孔表情的识别率可能会更高。在神经层面上，正立和倒置的群体面孔表情可能在梭状回、后颞上沟、顶内沟及眶额叶皮层等脑区诱发出不同的激活模式。另外，群体情绪效价可能也会对这些脑区的激活产生调节作用，尤其是在正立的群体面孔条件下。

实验 7 和实验 8 运用 TMS 技术进一步考察实验 5、6 得到的脑激活模式。实验 7 采用面孔朝向×群体面孔效价×靶点的三因素被试内设计。实验 8 采用面孔方位×群体面孔效价×靶点的三因素被试内实验设计。在实验流程上，在群体面孔表情呈现结束后，在目标靶点或顶点施加 10Hz 的强度为 100% MT 的脉冲。实验假设相对于顶点，对目标靶点施加 TMS 脉冲可能会对不同朝向/方位的群体面孔表情的识别产生调节作用。

3.3 研究三：面孔局部信息影响群体面孔表情加工的脑机制

单独面孔表情的加工不仅涉及构型加工，而且包括特征加工。特征加工体现在人们对面孔表情的识别主要依据关键性的面孔内部特征，例如高兴表情的识别主要依据微笑的嘴巴，而恐惧表情的识别主要依据睁大的眼睛。然而，在群体面孔表情的相关研究中，研究者们虽然发现群体面孔表情的识别是基于整体表征，但是并没有深入探讨整体表征背后的发生机制，面孔的各个部位信息在情绪表征中发挥的作用仍未可知。更重要的是，群体面孔包含更多的特征信息，比如多双眼睛、多张嘴巴。那么，群体面孔表情识别的关键线索和个体表情识别中的是否具有一致性呢？群体面孔表情识别的关键线索之间是否存在竞争关系呢？因此，本研究将采用行为、ERP 和 fMRI 等技术，运用 Bubbles 方法对群体面孔材料进行模糊化处理，首先找出群体面孔表情识别的关键部位信息，再运用验证性的方法考察不同部位信息影响群体面孔表情加工的脑机制。具体研究内容如下：

实验 9 采用数据驱动的方式即 Bubbles 技术来探索群体面孔表情加工过程中所依赖的关键性面部信息，未设置具体的实验因素及实验条件。以实验 1 中不同情绪类别的变形面孔作为本实验的原始刺激材料来制作本实验的 Bubbles 图片。实验流程为先呈现不同条件下的面孔图片，被试判断群体面孔表情的类型，按键后界面消失，进入下一个试次。研究假设在中高频带，鼻梁上半部分的眉毛和眼睛是负性群体表情的关键性信息。低频带时，整个嘴型伸展的明暗背景，是正性群体表情的关键性信息。

在实验 9 结果的基础上实验 10 采用遮蔽的方法结合 ERP 和 fMRI 考察关键性面孔信息对不同效价群体面孔表情感知的影响及脑机制。以实验 1 中的变形面孔作为本实验的原始刺激材料，并用 Photoshop 软件把关键性的面孔信息保留，同时隐藏无关的细节信息，只保留模糊的轮廓信息。任务依然是情绪效价判断。研究假设完整群体面孔、眼区可视群体面孔和嘴部区域可视群体面孔的情绪识别可能存在差异。神经层面上，N170 成分对完整群体面孔和眼区可视群体面孔的敏感性可能更高，能诱发出更大的波幅。群体情绪效价也可能影响 N170 成分的波幅。此外，参与情绪性信息加工的 EPN 和 LPP 成分也可能受群体面孔效价信息的影响，产生不同的反应。fMRI 实验中，杏仁核、梭状回、枕叶面孔区以及后颞上沟可能存在面孔区域及群体面孔表情效价的交互作用。值得一提的是，Petro 等(2013)在初级视觉皮层（V1）中解码面孔局部区域（嘴巴、眼睛）对于面孔分类的作用时发现，嘴巴在识别不同情绪时作用更大，这提示我们 V1 对于不同的面部区域敏感性可能不同，在本实验中呈现群体面孔的不同局部区域可能会在 V1 的激活上有所区别。

3.4 研究四：空间频率影响群体面孔表情加工的脑机制

除构成面孔完整性的内部空间结构信息外，面孔还包括频域上的信息。与完整频谱的正常面孔相比，低空间频率的面孔提供了朝向和轮廓信息，高空间频率的面孔提供了细节特征信息。而且，现有的研究发现低频信息与构型加工有关，而高频信息与特征加工有关。此外，我们之前的研究还发现，在个体面孔表情识别中，恐惧和愤怒面孔的识别主要依赖于低频信息，而高兴面孔的识别涉及高频和低频信息。那么，空间频率信息以何种方式影响群体面孔表情的加工呢？本研究将操纵群体面孔的空间频率信息，结合 ERP、fMRI 和 TMS 三种技术来探究空间频率信息对群体面孔表情加工的影响及神经机制。具体研究内容如下：

实验 11 采用空间频率×效价的两因素被试内设计，结合 ERP 和 fMRI 来考察空间频率信息影响不同效价群体面孔表情加工的脑内时程特点和激活模式。被试的任务是进行面孔情绪效价判断。研究假设在群体面孔表情加工的早期阶段，P1 成分对空间频率信息敏感，不同空间频率条件诱发不同的 P1 波幅；N170 成分可能对空间频率和效价信息都敏感，低空间频率条件和完整频率条件下负性群体面孔诱发的波幅可能不同于正性群体面孔条件。P3 成分可能对高频信息和完整频率信息更敏感，高频和完整频率信息比低频群体面孔诱发出更正的波幅。此外，P3 成分可能会对情绪效价有影响，正性和负性的群体面孔表情产生有差别的 P3 波幅。fMRI 结果中，我们推测大脑对空间频率信息的表征同样存在于不同的脑区当中。总体上看，高频信息的加工可能发生在面孔特征相关的脑区梭状回和枕叶面孔区，而顶内沟以及皮层下的杏仁核脑区可能与群体面孔的低频信息加工有关。

实验 12 采用 TMS 技术对实验 11 发现的靶点脑区进行调控，验证其在影响群体面孔表情加工中的作用。采用空间频率×效价×靶点的三因素被试内设计。在具体实验流程中，在群体面孔表情呈现结束后，在目标靶点或顶点施加 10Hz 的强度为 100%MT 的脉冲。研究假设相对于顶点，对目标靶点施加 TMS 脉冲可能会对不同频率的群体面孔表情识别产生直接影响。

4 理论构建

情绪识别是人类的一项核心能力，在理解他人、搜索社会环境以及指导决策和行为等方面的作用不可小觑(Olsson & Ochsner, 2008)。另外，它也是大多数情绪智力测试的关键组成部分(Mayer et al., 2007)，自闭症(Song et al., 2016)、社交焦虑症(Schneier et al., 2011)、抑郁症(Leppänen et al., 2004)、精神分裂症(Lee et al., 2011)等疾病都伴有情绪识别能力受损的症状。鉴于面孔表情的社会性和动机性功能以及情感表达的自发性和丰富性(Barrett et al., 2019; Ekman, 2003)，当前的研究者已经采用单独呈现的面孔表情详细地考察了人们的情绪识别能

力，让我们对个体面孔表情的感知和识别机制有了较为清晰的认识(Adolphs, 2002; de la Rosa et al., 2018; Meaux & Vuilleumier, 2016; Sabatinelli et al., 2011)。然而，情绪不仅发生在个体层面上，还发生在群体层面上。本研究以群体面孔情绪信息加工为切入点，借鉴当前面孔表情研究中较为经典和成熟的情绪识别任务，结合行为、ERP、fMRI 和 TMS 等技术手段，综合探讨个体在加工不同情绪效价的群体面孔表情时的一般特征和大脑活动模式，并在此基础上深入探究群体面孔表情加工如何进行的脑机制，主要创新点包括：

在理论方面，以往把面孔表情作为研究对象的研究多围绕个体面孔表情展开，忽略了群体面孔表情也是日常生活中常见的情绪载体。本项目以群体面孔表情作为研究对象，从多个角度系统地考察了群体面孔表情识别的脑机制。研究一综合比较了高兴、恐惧、愤怒、悲伤等多种效价的群体面孔情绪，并且把强度因素纳入其中，揭示了群体情绪识别上的特异性加工优势。更重要的是，电生理和脑成像方面的研究结果填补了情绪性群体面孔表情加工领域的空白，便于与现有的单独面孔表情加工证据进行比较，区分出个体和群体面孔表情加工相关的特异性脑机制，并且揭示参与面孔表情加工的一般性脑机制。研究二和研究三立足于面孔表情的构型和特征信息，分别从群体面孔的朝向信息和空间结构完整性来考察面孔内部线索对群体面孔表情加工的影响及脑机制。相关的研究结果可以表明面孔构型信息和特征信息在群体面孔整体表征中的作用，为今后深入探讨整体表征的发生机制和影响因素奠定了理论基础。研究四将研究视角转向群体面孔表情的空间频率信息，探讨空间频率信息对群体面孔表情加工的影响及脑机制，有助于厘清不同效价的群体面孔识别和个体面孔识别是否依赖相同的空间频率信息。而且，本研究的开展将为对比和分析单独面孔表情加工和群体面孔表情加工的脑机制上提供理论证据，深化我们对情绪感知和面孔加工的认识。

除此之外，研究者们提出了多样的面孔识别理论模型(Bruce & Young, 1986; Haxby et al., 2000)，比如 Haxby 等(2000) 提出的分布性神经系统模型（Distributed Human Neural System Model），强调了面孔加工神经机制分为核心系统和外围系统。在核心系统中，表征面孔的可变特征主要位于颞上沟，而不变特征位于梭状回，外围系统中一些负责其他认知功能的脑区也参与面孔识别。Im 等(2017)发现顶内沟、额上回和额中回在内的背侧视觉通路在加工群体面孔表情时产生了更大的激活，这与个体面孔的神经模型并不一致。因此，以上模型在群体面孔表情的识别中是否适用，还不得而知。本研究的实施将从一个新的视角对以往的面孔感知模型进行验证，并随着研究结果的分析和讨论对模型进行补充、丰富和完善。

在应用方面，个体从出生到死亡都处于群体之中，群体活动和社会交往是人类不可或缺的生存方式，身处于群体之中，每个个体都不再孤立无依而是与群体保持密切联系(Le Bon,

1895)。本研究对于群体面孔表情加工的情绪特点和社会意义的探讨，一方面能够为未来的群体情绪调节和干预提供理论指导，促进亲环境和亲社会行为。另一方面，这些证据能够指导行为和认知训练策略的制定，帮助个体尤其是情绪识别能力受损个体有效地识别群体情绪并调整自身行为反应，提高群体归属感和群体凝聚力。此外，弄清群体面孔表情的特点和规律有助于改善个体对群体情绪的识别和反应能力，从根本上提高自身的心理健康水平和主观幸福感，促进团队合作和和谐社会的构建。

参考文献

李帅霞，李萍，王伟，何蔚祺，罗文波. (2017). 基于眼部线索的面孔表情加工及神经机制. *心理科学进展, 25*(2), 221-229.

汪亚珉，黄雅梅. (2011). 面孔识别中的构形加工与特征加工. *心理科学进展, 19*(8), 1126–1137.

侯牧，李雪榴，叶春，李红. (2014). 面部表情加工的 ERP 成分. *心理科学进展, 22*(10), 1556–1563.

殷融，张菲菲，王元元，许志红. (2017). 群体内疚:界定、心理机制、行动倾向及干预策略. *心理科学进展, 25*(6), 1058–1068.

Adolphs, R. (2002). Recognizing emotion from facial expressions: Psychological and neurological nechanisms. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews, 1*(1), 21–62.

Adolphs, R. (2017). How should neuroscience study emotions? By distinguishing emotion states, concepts, and experiences. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 12*(1), 24–31.

Adolphs, R., Gosselin, F., Buchanan, T. W., Tranel, D., Schyns, P., & Damasio, A. R. (2005). A mechanism for impaired fear recognition after amygdala damage. *Nature, 433*(7021), 68–72.

Ahs, F., Davis, C. F., Gorka, A. X., & Hariri, A. R. (2014). Feature-based representations of emotional facial expressions in the human amygdala. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 9*(9), 1372–1378.

Alvarez, G. A. (2011). Representing multiple objects as an ensemble enhances visual cognition. *Trends in Cognitive Sciences, 15*(3), 122–131.

Ariely, D. (2001). Seeing sets: Representation by statistical properties. *Psychological Science, 12*(2), 157–162.

Barrett, L. F., Adolphs, R., Marsella, S., Martinez, A. M., & Pollak, S. D. (2019). Emotional expressions reconsidered: Challenges to inferring emotion from human facial movements. *Psychological Science in the Public Interest, 20*(1), 1–68.

Beaudry, O., Roy-Charland, A., Perron, M., Cormier, I., & Tapp, R. (2014). Featural processing in recognition of emotional facial expressions. *Cognition and Emotion, 28*(3), 416–432.

Becker, D. V., Anderson, U. S., Mortensen, C. R., Neufeld, S. L., & Neel, R. (2011). The face in the crowd effect unconfounded: Happy faces, not angry faces, are more efficiently detected in single- and multiple-target visual search tasks. *Journal of Experimental Psychology: General, 140*(4), 637–659.

Bombari, D., Schmid, P. C., Schmid Mast, M., Birri, S., Mast, F. W., & Lobmaier, J. S. (2013). Emotion recognition: The role of featural and configural face information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 66*(12), 2426–2442.

Bruce, V., & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology, 77*(3), 305–327.

Bucher, A., & Voss, A. (2019). Judging the mood of the crowd: Attention is focused on happy faces. *Emotion, 19*(6), 1044–1059.

Burr, D., & Ross, J. (2008). A visual sense of number. *Current Biology, 18*(6), 425–428.

Cabeza, R., & Kato, T. (2000). Features are also important: Contributions of featural and configural processing to face recognition. *Psychological Science, 11*(5), 429–433.

Caharel, S., Collet, K., & Rossion, B. (2015). The early visual encoding of a face (N170) is viewpoint-dependent: A parametric ERP-adaptation study. *Biological Psychology, 106*, 18–27.

Calder, A. J., Young, A. W., Keane, J., & Dean, M. (2000). Configural information in facial expression perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 26*(2), 527–551.

Calvo, M. G., & Beltrán, D. (2013). Recognition advantage of happy faces: Tracing the neurocognitive processes. *Neuropsychologia, 51*(11), 2051–2061.

Calvo, M. G., & Beltrán, D. (2014). Brain lateralization of holistic versus analytic processing of emotional facial expressions. *NeuroImage, 92*, 237–247.

Calvo, M. G., Fernández-Martín, A., & Nummenmaa, L. (2014). Facial expression recognition in peripheral versus central vision: Role of the eyes and the mouth. *Psychological Research, 78*(2), 180–195.

Chen, Z., & Whitney, D. (2019). Tracking the affective state of unseen persons. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 116*(15), 7559–7564.

Chong, S. C., & Treisman, A. (2005). Statistical processing: Computing the average size in perceptual groups. *Vision Research, 45*(7), 891–900.

de la Rosa, S., Fademrecht, L., Bülthoff, H. H., Giese, M. A., & Curio, C. (2018). Two ways to facial expression recognition? Motor and visual information have different effects on facial expression recognition. *Psychological Science, 29*(8), 1257–1269.

Ding, R., Li, P., Wang, W., & Luo, W. (2017). Emotion processing by ERP combined with development and plasticity.

Neural Plasticity, 2017(2), 5282670.

Dricu, M., & Frühholz, S. (2016). Perceiving emotional expressions in others: Activation likelihood estimation meta-analyses of explicit evaluation, passive perception and incidental perception of emotions. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 71*, 810–828.

Ekman, P. (2003). *Emotions revealed: Recognizing faces and feelings to improve communication and emotional life*. London: Weidenfeld & Nicolson.

Elias, E., Dyer, M., & Sweeny, T. D. (2017). Ensemble perception of dynamic emotional groups. *Psychological Science, 28*(2), 193–203.

Fox, E., Lester, V., Russo, R., Bowles, R. J., Pichler, A., & Dutton, K. (2000). Facial expressions of emotion: Are angry faces detected more efficiently? *Cognition and Emotion, 14*(1), 61–92.

Frijda, N. H. (1986). *The emotions*. Cambridge: Cambridge University Press.

Goldenberg, A., Sweeny, T. D., Shpigel, E., & Gross, J. J. (2020). Is this my group or not? The role of ensemble coding of emotional expressions in group categorization. *Journal of Experimental Psychology: General, 149*(3), 445–460.

Guo, K., & Shaw, H. (2015). Face in profile view reduces perceived facial expression intensity: An eye-tracking study. *Acta Psychologica, 155*, 19–28.

Haberman, J., Brady, T. F., & Alvarez, G. A. (2015). Individual differences in ensemble perception reveal multiple, independent levels of ensemble representation. *Journal of Experimental Psychology: General, 144*(2), 432–446.

Haberman, J., Harp, T., & Whitney, D. (2009). Averaging facial expression over time. *Journal of Vision, 9*(11), 1–13.

Haberman, J., & Ulrich, L. (2019). Precise ensemble face representation given incomplete visual input. *i-Perception, 10*(1), 1–15.

Haberman, J., & Whitney, D. (2007). Rapid extraction of mean emotion and gender from sets of faces. *Current Biology, 17*(17), R751–R753.

Haberman, J., & Whitney, D. (2009). Seeing the mean: Ensemble coding for sets of faces. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 35*(3), 718–734.

Haberman, J., & Whitney, D. (2010). The visual system discounts emotional deviants when extracting average expression. *Attention, Perception, & Psychophysics, 72*(7), 1825–1838.

Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception.

Trends in Cognitive Sciences, 4(6), 223–233.

Im, H. Y., Albohn, D. N., Steiner, T. G., Cushing, C. A., Jr, A. R., & Kveraga, K. (2017). Differential hemispheric and visual stream contributions to ensemble coding of crowd emotion. *Nature Human Behaviour, 1*(11), 828–842.

Ironside, M., Browning, M., Ansari, T. L., Harvey, C. J., Sekyi-Djan, M. N., Bishop, S. J., . . . O'Shea, J. (2017). Prefrontal cortex regulates amygdala response to threat in trait anxiety. *BioRxiv*, 215699.

Ji, L., Rossi, V., & Pourtois, G. (2018). Mean emotion from multiple facial expressions can be extracted with limited attention: Evidence from visual ERPs. *Neuropsychologia, 111*, 92–102.

Kesler, M. L., Andersen, A. H., Smith, C. D., Avison, M. J., Davis, C. E., Kryscio, R. J., & Blonder, L. X. (2001). Neural substrates of facial emotion processing using fMRI. *Cognitive Brain Research, 11*(2), 213–226.

Le Bon, G. (1895). *The crowd: A study of the popular mind*. London: Ernest Benn.

Leach, C. W., Iyer, A., & Pedersen, A. (2006). Anger and guilt about ingroup advantage explain the willingness for political action. *Personality and Social Psychology Bulletin, 32*(9), 1232–1245.

Lee, J., Gosselin, F., Wynn, J. K., & Green, M. F. (2011). How do schizophrenia patients use visual information to decode facial emotion? *Schizophrenia Bulletin, 37*(5), 1001–1008.

Leib, A. Y., Puri, A. M., Fischer, J., Bentin, S., Whitney, D., & Robertson, L. (2012). Crowd perception in prosopagnosia. *Neuropsychologia, 50*(7), 1698–1707.

Leppänen, J. M., Milders, M., Bell, J. S., Terriere, E., & Hietanen, J. K. (2004). Depression biases the recognition of emotionally neutral faces. *Psychiatry Research, 128*(2), 123–133.

Li, H., Ji, L., Tong, K., Ren, N., Chen, W., Liu, C. H., & Fu, X. (2016). Processing of individual items during ensemble coding of facial expressions. *Frontiers in Psychology, 7*(7), 1332.

Li, S. X., Li, P., Wang, W., Zhu, X. R., & Luo, W. B. (2018). The effect of emotionally valenced eye region images on visuocortical processing of surprised faces. *Psychophysiology, 55*(5), e13039.

Lindquist, K. A., Wager, T. D., Kober, H., Bliss-Moreau, E., & Barrett, L. F. (2012). The brain basis of emotion: A meta-analytic review. *Behavioral and Brain Sciences, 35*(3), 121–143.

Luo, W., Feng, W., He, W., Wang, N. Y., & Luo, Y. J. (2010). Three stages of facial expression processing: ERP study with rapid serial visual presentation. *NeuroImage, 49*(2), 1857–1867.

Maurer, D., Grand, R. L., & Mondloch, C. J. (2002). The many faces of configural processing. *Trends in Cognitive Sciences, 6*(6), 255–260.

Maurer, D., O'Craven, K. M., Le Grand, R., Mondloch, C. J., Springer, M. V., Lewis, T. L., & Grady, C. L. (2007).

Neural correlates of processing facial identity based on features versus their spacing. *Neuropsychologia, 45*(7), 1438–1451.

Mayer, J. D., Roberts, R. D., & Barsade, S. G. (2007). Human abilities: Emotional intelligence. *Annual Review of Psychology, 59*(1), 507–536.

McNair, N. A., Goodbourn, P. T., Shone, L. T., & Harris, I. M. (2017). Summary statistics in the attentional blink. *Attention, Perception, & Psychophysics, 79*(1), 100–116.

Meaux, E., & Vuilleumier, P. (2016). Facing mixed emotions: Analytic and holistic perception of facial emotion expressions engages separate brain networks. *NeuroImage, 141*, 154–173.

Nummenmaa, L., & Calvo, M. G. (2015). Dissociation between recognition and detection advantage for facial expressions: A meta-analysis. *Emotion, 15*(2), 243–256.

Olsson, A., & Ochsner, K. N. (2008). The role of social cognition in emotion. *Trends in Cognitive Sciences, 12*(2), 65–71.

Parkes, L., Lund, J., Angelucci, A., Solomon, J. A., & Morgan, M. (2001). Compulsory averaging of crowded orientation signals in human vision. *Nature Neuroscience, 4*(7), 739–744.

Pessoa, L. (2017). A network model of the emotional brain. *Trends in Cognitive Sciences, 21*(5), 357–371.

Petro, L. S., Smith, F. W., Schyns, P. G., & Muckli, L. (2013). Decoding face categories in diagnostic subregions of primary visual cortex. *European Journal of Neuroscience, 37*(7), 1130–1139.

Phan, K. L., Wager, T., Taylor, S. F., & Liberzon, I. (2002). Functional neuroanatomy of emotion: A meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *NeuroImage, 16*(2), 331–348.

Porat, R., Halperin, E., Mannheim, I., & Tamir, M. (2016). Together we cry: Social motives and preferences for group-based sadness. *Cognition and Emotion, 30*(1), 66–79.

Pourtois, G., Grandjean, D., Sander, D., & Vuilleumier, P. (2004). Electrophysiological correlates of rapid spatial orienting towards fearful faces. *Cerebral Cortex, 14*(6), 619–633.

Rellecke, J., Palazova, M., Sommer, W., & Schacht, A. (2011). On the automaticity of emotion processing in words and faces: Event-related brain potentials evidence from a superficial task. *Brain and Cognition, 77*(1), 23–32.

Rellecke, J., Sommer, W., & Schacht, A. (2012). Does processing of emotional facial expressions depend on intention? Time-resolved evidence from event-related brain potentials. *Biological Psychology, 90*(1), 23–32.

Rossion, B., & Caharel, S. (2011). ERP evidence for the speed of face categorization in the human brain: Disentangling the contribution of low-level visual cues from face perception. *Vision Research, 51*(12),

1297–1311.

Sabatinelli, D., Fortune, E. E., Li, Q., Siddiqui, A., Krafft, C., Oliver, W. T., . . . Jeffries, J. (2011). Emotional perception: Meta-analyses of face and natural scene processing. *NeuroImage, 54*(3), 2524–2533.

Schneier, F. R., Rodebaugh, T. L., Blanco, C., Lewin, H., & Liebowitz, M. R. (2011). Fear and avoidance of eye contact in social anxiety disorder. *Comprehensive Psychiatry, 52*(1), 81–87.

Smith, E. R., & Mackie, D. M. (2016). Group-level emotions. *Current Opinion in Psychology, 11*, 15–19.

Smith, E. R., Seger, C. R., & Mackie, D. M. (2007). Can emotions be truly group level? Evidence regarding four conceptual criteria. *Journal of Personality and Social Psychology, 93*(3), 431–446.

Smith, F. W., & Smith, M. L. (2019). Decoding the dynamic representation of facial expressions of emotion in explicit and incidental tasks. *NeuroImage, 195*, 261–271.

Smith, H. J., Cronin, T., & Kessler, T. (2008). Anger, fear, or sadness: Faculty members' emotional reactions to collective pay disadvantage. *Political Psychology, 29*(2), 221–246.

Song, J., Liu, M., Yao, S., Yan, Y., Ding, H., Yan, T., . . . Xu, G. (2017). Classification of emotional expressions is affected by inversion: Behavioral and electrophysiological evidence. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 11*(21).

Song, Y., Hakoda, Y., & Sang, B. (2016). A selective impairment in extracting fearful information from another's eyes in Autism. *Autism research : official journal of the International Society for Autism Research, 9*, 1002–1011.

Sun, J., & Chong, S. C. (2020). Power of averaging: Noise reduction by ensemble coding of multiple faces. *Journal of experimental psychology. General, 149*(3), 550–563.

Sweeny, T. D., Haroz, S., & Whitney, D. (2013). Perceiving group behavior: Sensitive ensemble coding mechanisms for biological motion of human crowds. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 39*(2), 329–337.

Sweeny, T. D., & Whitney, D. (2014). Perceiving crowd attention: Ensemble perception of a crowd's gaze. *Psychological Science, 25*(10), 1903.

Tanaka, J. W., Kaiser, M. D., Butler, S., & Le Grand, R. (2012). Mixed emotions: Holistic and analytic perception of facial expressions. *Cognition and Emotion, 26*(6), 961–977.

van Leeuwen, E., van Dijk, W., & Kaynak, Ü. (2013). Of saints and sinners: How appeals to collective pride and guilt affect outgroup helping. *Group Processes & Intergroup Relations, 16*(6), 781–796.

Wang, L., Fu, S., Feng, C., Luo, W., Zhu, X., & Luo, Y. J. (2012). The neural processing of fearful faces without

attention and consciousness: An event-related potential study. *Neuroscience Letters, 506*(2), 317–321.

Watamaniuk, S. N. J., & Duchon, A. (1992). The human visual system averages speed information. *Vision Research, 32*(5), 931–941.

Wegrzyn, M., Vogt, M., Kireclioglu, B., Schneider, J., & Kissler, J. (2017). Mapping the emotional face. How individual face parts contribute to successful emotion recognition. *PloS One, 12*(5), e0177239.

Zhao, K., Zhao, J., Zhang, M., Cui, Q., & Fu, X. (2017). Neural responses to rapid facial expressions of fear and surprise. *Frontiers in Psychology, 8*, 1–8.

Neural mechanism underlying the perception of crowd facial emotions

HE Weiqi[1,2], LI Shuaixia[1,2], ZHAO Dongfang[1,2]

[1]Research Center of Brain and Cognitive Neuroscience, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

[2]Key laboratory of Brain and Cognitive Neuroscience, Liaoning Province, Dalian 116029, China

Abstract: How to reveal the cognitive neural correlates underlying emotional face processing has always been the popular topic for psychology and social neuroscience. Previous studies mainly used single facial expressions as the stimuli to induce and present emotions, but there is still a lack of attention and the investigation for the crowd emotion. Thus, the present project plans to reveal the neural correlates underlying the processing of crowd emotional faces through the combination of behavioral, ERP, fMRI, and TMS experiments, in which the emotional information (valence and intensity), face direction (frontal, lateral and inverse view), integrity (partial presentation, complete presentation) and spatial frequency (complete, high frequency, low frequency) will be investigated to reveal the temporal dynamics and brain activation patterns of the processing of crowd facial expressions. Finally, our work will be expected to beneficially serve the comprehensive understanding of the nature of the perception and recognition of crowd emotion, which is also of practical significance towards updating social interactions.

Key words: facial expression, emotional processing, crowd emotion, ensemble perception